**Иванов, Сергей Петрович. Совершенствование тепломассообменных процессов в водооборотных циклах промышленных предприятий : диссертация ... доктора технических наук : 05.17.08 / Иванов Сергей Петрович; [Место защиты: Уфимский государственный нефтяной технический университет].- Уфа, 2012.- 261 с.: ил. РГБ ОД, 71 13-5/14**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ

ФЕДЕРАЦИИ

Филиал ФГБОУ ВПО «УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» в г. Стерлитамаке

' На правах рукописи



Иванов Сергей Петрович

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОДООБОРОТНЫХ ЦИКЛАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Специальность 05.17.08 - Процессы и аппараты химических технологий

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант д.т.н. Ибрагимов И. Г.

Уфа-2012

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 5

**Глава АНАЛИЗ ВОДООБОРОТНЫХ ЦИКЛОВ И**

1. **КОНСТРУКЦИЙ ОРОСИТЕЛЕЙ ГРАДИРЕН**

**ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

* 1. [Пленочные оросители градирен 20](#bookmark1)
	2. [Капельно-пленочные оросители градирен 27](#bookmark2)
	3. Выбор конструкционного материала для усовершенствования конструкций оросителей градирен 41
	4. [Разработка конструкций полимерных капельно-пленочных оросителей градирен 50](#bookmark7)
		1. [Полимерный капельно-пленочный ороситель градирни «блок в блоке» 55](#bookmark10)
		2. [Полимерный капельно-пленочный ороситель градирни на основе сетчатых оболочек и гофрированных труб 56](#bookmark12)
		3. Полимерный капельно-пленочный ороситель градирни

с лопастными завихрителями 57

* + 1. [Комбинированный полимерный капельно-пленочный ороситель градирни 58](#bookmark14)

**Глава ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

1. **ГИДРОАЭРОТЕРМИЧЕСКИХ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ**

**ХАРАКТЕРИСТИК ОРОСИТЕЛЕЙ ГРАДИРЕН**

* 1. [Экспериментальная установка для исследования гидроаэротермических характеристик оросителей градирен и методика проведения испытаний 63](#bookmark20)
	2. [Методика обработки опытных данных по результатам проведенных гидроаэротермических и аэродинамических испытаний 67](#bookmark22)

Испытания разработанных конструкций оросителей градирен в

промышленных водооборотных циклах 95

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОРОСИТЕЛЕЙ ГРАДИРЕН ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОЗИЦИЙ НА ИХ ОСНОВЕ Анализ и выбор технологии для изготовления теплотехнических

элементов градирен 108

Анализ конструкций экструзионных головок для изготовления

профильно-погонажных изделий 110

Разработка конструкции экструзионной головки для

изготовления сетчатых оболочек 129

Тенденции развития теорий и методов расчета формующих каналов профильно-погонажных экструзионных

головок 133

Методика расчета экструзионной головки для изготовления

[сетчатых оболочек 140](#bookmark46)

Вывод основного уравнения для расчета пропускной способности экструзионных формующих каналов сложного

профиля 141

Методика определения коэффициентов формы для формующих

[каналов сложного профиля 148](#bookmark53)

[Экспериментальная установка и методика для исследования гидродинамических характеристик потоков при экструзии расплавов полимеров 158](#bookmark66)

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЕТЧАТЫХ ОБОЛОЧЕК

Анализ гидродинамических характеристик потоков расплавов

полимеров при экструзии в формующих каналах сложного профиля 179

1. Анализ результатов экспериментальных исследований

и сравнение их с теоретическими данными 194

1. Результаты экспериментальных исследований явления эластического восстановления струи расплавов полимеров при

экструзии изделий сложного профиля 196

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАУЧНО­ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И КОНСТРУКТОРСКИХ РАЗРАБОТОК В АСПЕКТЕ ИХ ПРОМЫШЛЕННОГО

ПРИМЕНЕНИЯ 215

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ 228

ЛИТЕРАТУРА 231

ПРИЛОЖЕНИЕ

**ВВЕДЕНИЕ**

Обеспечение водой промышленных предприятий является одной из важных народнохозяйственных задач. В подавляющем большинстве отраслей промышленности вода используется в технологических процессах производ­ства. Требования к количеству и качеству подаваемой воды определяются характером технологического процесса. Выполнение этих требований систе­мой водоснабжения обеспечивает нормальную работу предприятия и надле­жащее качество выпускаемой продукции [1,1; 1,10; 1,26; 1,36; 1,58.].

Водооборотные циклы, как основная часть системы водоснабжения промышленных предприятий, должны обеспечивать подачу воды на произ­водство в требуемых количествах и соответствующего качества. Они состоят из комплекса взаимосвязанных сооружений - водозаборных устройств, на­сосных станций, установок для очистки и улучшения качества воды, регули­рующих и запасных емкостей, аппаратов для охлаждения воды и разводящей сети трубопроводов [1,36].

Таблица 1.1 - Забор пресной и морской воды для нужд промышленности из природных источников по годам.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Год. | 1990 | 1995 | 2000 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2009 | 2011 |
| Объем водопо­требления, млрд. м3. | 116,1 | 97,1 | 85,9 | 79,4 | 79,5 | 79,3 | 80 | 85 | 87 |

На основе анализа водопотребления в России (табл. 1.1) по данным Го­сударственного водного кадастра в 1990-2011 гг. можно сделать следующие выводы:

* сокращение общего водозабора в стране составило порядка 30 млрд. м , или примерно на треть меньше уровня 1990 г.;
* снижения забора воды за пятилетний период 1991-1995 гг. был на уровне 19 млрд. м3, 2001-2005 гг. - лишь 6,4 млрд. м3. В 2006-2011 гг. отме­чен небольшой рост этого показателя - на 7 млрд. м .

Таким образом, величина потребления воды отечественной промыш­ленностью за последние годы периодически колебалась в обе стороны и ус­тойчивой тенденции не было, что можно объяснить экономическими преоб­разованиями, происходившими в рассматриваемый период времени.

Однако стоит отметить рост объемов оборотного и последовательного (повторного) использования воды в промышленности (2000 г.- 133,5 млрд. м3, 2005 г. - 135.5 млрд. м3, 2007 - 144.4 млрд. м3, 2011 - 153 млрд. м3) что свидетельствует об устойчивой тенденции к минимизации водопотребления из внешних природных источников.

Существует три основных вида потребления технической воды на про­мышленных предприятиях [2,74]:

1. От 70 до 90% воды используется на промышленных предприятиях в каче­стве хладоагента, охлаждающего продукцию в теплообменных аппаратах, или для защиты отдельных элементов установок и машин от чрезмерного на­грева. Эта вода нагревается, но не загрязняется (в основном) охлаждающей продукцией.
2. От 5 до 13% технической воды используется для очищения продукции или сырья от примесей, а также в качестве транспортирующей среды. Эта вода загрязняется и нагревается, если материалы, с которыми она контактирует, имеют повышенную температуру.
3. От 10 до 20% технической воды теряется за счет испарения или входит в состав произведенной продукции.

Таким образом, в зависимости от вида технологического процесса обо­ротная вода может быть транспортирующей или поглощающей средой (ис­пользование воды в таких качествах в данной диссертационной работе не рассматривается), либо теплоносителем, циркулирующим в охлаждающей системе оборотного водоснабжения. Это система, в которой вода использует­ся в качестве хладагента для охлаждения оборудования или для конденсации и охлаждения газообразных и жидких продуктов в теплообменных аппара­тах, где нагревается, а в некоторых случаях и загрязняется этими продукта­ми. Для охлаждения нагретой в технологическом процессе воды на предпри­ятиях в основном применяются аппараты воздушного охлаждения - градир­ни. Далее после охлаждения и очистки (при необходимости) основная масса воды возвращается в систему; часть оборотной воды (обычно не более 5%) теряется за счет испарения, капельного уноса, утечек и сброса в ходе продув­ки системы [2,73; 2,77; 2,105; 2,107].

Можно констатировать, что для охлаждения технологического обору­дования в России используется примерно от 105 до 130 млрд. м оборотной воды, что составляет в среднем по всем отраслям промышленности около 65% общего расхода воды этой категории [2,117].

Предприятия теплоэнергетической отрасли потребляют две трети све­жей воды, забираемой на промышленные нужды из источников водоснабже­ния, при наибольшем расходовании ее для охлаждения технологического оборудования (96%). Однако коэффициент водооборота в отрасли ниже среднего по промышленности и составляет около 69% из-за сохранившихся с предыдущих лет на многих энергетических предприятиях прямоточных сис­тем водоснабжения. Так, из 144 ТЭС с установленной мощностью 215 ГВт на прямоточных системах водоснабжения работают 45 и на оборотных 99. При этом для охлаждения оборотной воды (из 69%) используются водохранилища (54%), градирни (14%), «сухие» (радиаторные) градирни (0,8%) и брызгаль- ные бассейны (0,2%) [2,114; 3,4].

Потребление свежей воды в промышленности в значительной мере может быть уменьшено за счет перехода производств на безотходные, без­водные или маловодные технологии. Однако многие производственные про­цессы не всегда или не в полной мере позволяют использовать такие техно­логии. Тогда на первый план в реализации задачи экономии воды в промыш­ленности вступают охлаждающие системы оборотного водоснабжения с применением градирен различных типов и конструкций [1,52].

В основном эффективность процесса охлаждения оборотной воды в градинях определяется насадочными устройствами (оросителями), предна­значенными для обеспечения необходимой поверхности контакта водного и воздушного потоков, при минимально возможных аэро- и гидродинамиче­ском сопротивлениях [2,1; 2,9; 2,10 - 2,13].

Несмотря на то, что многими отечественными (ООО ”ТМИМ”, ООО “ПОЛИМЕРХОЛОДТЕХНИКА”, ООО “ИРВИК”, ООО “АГРОСТРОЙСЕР- ВИС”) и зарубежными (Cooling Tower Systems, Ltd (США), YWCT Custom Cooling Towers (Израиль), Thermal Care, Inc. (США), BALKE DURR (Герма­ния) и т.д.) производителями предпринимаются попытки изготовления оро­сителей градирен из полимерных материалов [1,36], в настоящее время, в по­давляющем большинстве, в качестве оросителей градирни до сих пор широко используются конструкции, выполненные из дерева или асбестоцемента.

Основными недостатками древесных оросителей являются малая эф­фективность, большая масса на единицу площади, малая поверхность кон­такта, высокий коэффициент аэродинамического сопротивления и малый срок службы. Кроме этого древесина чувствительна к химическому и биоло­гическому воздействию и очень быстро разрушается из-за вымывания обо­ротной водой из нее лигнина (делигнификация), и как следствие в древесине при этом остается лишь целлюлоза. Процесс делигнификации идет более ин­тенсивно при высоких значениях pH и значительном содержании в воде ак­тивного хлора, который как раз и используется в оборотной воде в качестве ингибитора коррозии. Так, при повышении pH с 5 до 9 интенсивность разру­шения лиственницы и дуба возрастает в 2-3 раза, а сосны и ели - в 10-16 раз [ 1,3 6; 1,43; 1,67].

Что касается асбестоцемента, то его применение в качестве материала для изготовления оросителей также имеет ряд существенных недостатков и ограничений, а именно подверженность хрупкому разрушению и деформа- тивность при изменении влажности. В условиях непосредственного контакта с оборотной водой оросители из асбестоцемента характеризуются крайне не высокой долговечностью.

Известно [1,36], что превышение температуры оборотной воды от рег­ламентируемой величины всего на 3° С приводит к снижению выработки продукции (нередко до 15%) и ухудшению ее качества. Кроме этого, при не­удовлетворительной работе градирен, оборудованных малоэффективными оросителями, предприятия для поддержания требуемого температурного ре­жима прибегают к нежелательному приему - «освежению» системы оборот­ного водоснабжения, при котором повышают до 10% и более сброс из систе­мы теплой воды при одновременном увеличении расхода подпиточной све­жей воды из природного источника, что дополнительно актуализирует необ­ходимость иследований в области повышения эффективности водоборотных циклов.

Основываясь на анализе научно исследовательской литературы и прак­тических исследованиях можно утверждать, что при существующих нормах глубины охлаждения оборотной воды (разность между температурой влаж­ного термометра и температурой охлажденной воды) в 10 - 15 °С есть воз­можность значительно усовершенствовать процесс ее охлаждения путем со­вершенствования конструкций оросителей с применением новых материалов и достичь глубины охлаждения в пределах 3 - 5 0 С [2,69; 2,70; 2,75; 2,77; 2,99; 2,100-2,103; 2,131].

Вышеизложенное обуславливает **актуальность** данной работы.

Часть диссертационной работы выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009­2013 годы (гос. контракты на проведение НИР: № П 358 от 30.07.09; № 16.740.11.0304 от 07.10.10)

**Целью диссертационной работы** является совершенствование тепло­массообменных процессов в водооборотных циклах промышленных пред­приятий повышением эффективности охлаждения оборотной воды в градир­нях с обоснованием и реализацией концепции разработки конструкций наса- дочных устройств из полимерных материалов и определением технологии их изготовления, за счет:

* разработки конструкций насадочных устройств - оросителей из поли­мерных материалов с оптимальным соотношением поверхностных и аэроди­намических характеристик, возможностью обеспечения режима устойчивого пленочного течения оборотной воды по межфазной поверхности, обладаю­щих высокой надежностью, долговечностью и химической стойкостью;
* формулировки научно обоснованных рекомендаций по технологии из­готовления составляющих элементов оросителя градирен, с совершенствова­нием инструментов реализации процесса, разработкой методик их расчета, исследованием реологических и гидродинамических характеристик распла­вов полимеров.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

* провести анализ современного состояния технических водооборотных систем и проводимых в них процессах испарительного охлаждения;
* разработать и классифицировать новый тип конструкций полимерных оросителей градирен;
* разработать экспериментальную установку для определения основных технологических характеристик полимерных оросителей;
* исследовать влияния конструктивных особенностей, аэродинамиче­ских и технологических характеристик полимерных насадок градирен на эф­фективность процесса охлаждения оборотной воды;
* разработать методику расчета основных технологических характери­стик оросителей из полимерных материалов и композиций на их основе;
* провести анализ и рекомендовать технологию изготовления полимер­ной оснастки градирен, характеризующуюся высокой производительностью, энергоресурсосбережением;
* разработать экспериментальную установку для определения реологи­ческих и расходно-напорных характеристик расплавов полимеров, исследо­вать реологические характеристики промышленных полимеров и выбрать оптимальный материал и режим для изготовления разработанных конструк­ций оросителей градирен.
* разработать конструкцию экструзионной головки и усовершенствовать методику расчета и проектирования экструзионного формующего инстру­мента для изготовления сетчатых элементов полимерной оснастки градирен;

**Научная новизна работы представлена:**

* математическими зависимостями, устанавливающими связь между си­лами поверхностного натяжения оборотной воды и конструктивными эле­ментами полимерных оросителей для оптимизации их геометрии, обеспечи­вающей образование устойчивой пленки оборотной воды на их поверхности;
* методикой определения основных технологических характеристик по­лимерных оросителей градирен и математическими зависимостями для ее реализации;
* математической зависимостью по определению расходно-напорных характеристик формующего инструмента для изготовления сетчатых оболо­чек, основанной на степенной зависимости эффективной вязкости расплавов промышленных полимеров от напряжения сдвига;
* установленной зависимостью между коэффициентом разбухания экс- трудата, геометрическими характеристиками формующих каналов экструзи­онных головок и основными параметрами процесса при экструзии расплава полиэтилена низкого давления (ПНД 277-73) по ГОСТ 16338, полиэтилена высокого давления (ПВД 15802-020) по ГОСТ 16337, полистирола (ПСМ - 115) по ГОСТ 20282;

- концепцией совершенствования конструкций оросителей градирен на основе сетчатой оболочки из полимерных и композиционных материалов, с оптимизацией их конструктивных элементов, с целью образования устойчи­вого пленочного режима течения оборотной воды по поверхности контакта в пределах плотности орошения до 12 м /(м час), с разработкой и классифика­цией нового типа оросителей градирен на основе сетчатой оболочки.

**Практическая значимость работы** состоит в следующем:

* сформулированы принципы конструирования и разработан новый тип конструкций полимерных оросителей градирен на основе сетчатой оболочки, обеспечивающий устойчивое пленочное течение оборотной воды по поверх­ности контакта;
* получены методики расчета для оптимизации геометрии конструктив­ных элементов оросителей. Получено 22 патента на изобретения и полезные модели по конструкциям оросителей;
* созданы экспериментальные установки для определения основных технологических характеристик насадочных устройств, исследования реоло­гических и расходно-напорных характеристик промышленных полимеров для изготовления оросителей;
* сформулированы основные принципы проектирования профильно­погонажных экструзионных головок и разработана конструкция промышлен­ной экструзионной головки для изготовления полимерной сетчатой оболоч­ки. Получено 7 патентов на изобретения и полезные модели по конструкциям экструзионных головок.
* разработана методика расчета профильно-погонажных экструзионных головок.

Разработанные методы расчета и конструкции полимерных насадочных устройств с целью совершенствования процесса охлаждения оборотной воды в градирнях внедрены и прошли промышленные испытания на предприятиях:

* ОАО «СТЕРЛИТАМАКНЕФТЕХИМПРОЕКТ» (разработанная мето­дика расчета эффективности полимерных оросителей рекомендована для проведения технологических расчетов при проектировании строительства и реконструкции градирен в водооборотных циклах промышленных предпри­ятий)
* ОАО «ГАЗПРОМ НЕФТЕХИМ САЛАВАТ» (проведена замена дре­весных оросителей на градирне ВГ - 70);
* ОАО «КАУСТИК» (проведена замена асбестоцементных оросителей на градирне СК - 400);
* ООО «СТЕРЛИТАМАКСКИЙ ЗАВОД КАТАЛИЗАТОРОВ» (проведе­на реконструкция эжекционной градирни с установкой вентиляторов и по­лимерных оросителей);
* ОАО «СИНТЕЗ КАУЧУК» (произведена реконструкция градирни СК - 400 с заменой древесных оросителей на полимерные);
* ООО «Розничная сеть АЗС САЛАВАТ» (проведена реконструкция вентиляторной миниградирни «Росинка»);
* ООО «ИШИМБАЙСКИЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ХИМИЧЕ­СКИЙ ЗАВОД КАТАЛИЗАТОРОВ» (проведена реконструкция вентилятор­ной градирни с заменой древесных оросителей на полимерные из сетчатых оболочек).

**Автор защищает:**

* полученные экспериментальные данные основных технологических характеристик разработанных конструкций полимерных оросителей гради­рен в диапазонах скоростей воздушного потока до 3 м/с и плотности ороше-

3 2

ния до 12 м /(м час).

* результаты модельных экспериментальных иследований повышения эффективности тепломассообменного процесса в промышленных градирнях
* методику расчета основных технологических характеристик полимер­ных оросителей градирен, с целью определения количественных и качест­венных показателей процесса охлаждения оборотной воды и оптимизации их конструктивных элементов, влияющих на эффективность тепломассообмен­ного процесса.
* результаты экспериментальных иследований реологических, гидроди­намических характеристик расплавов полимеров (полиэтилен низкого давле­ния (ПНД 277-73) по ГОСТ 16338, полиэтилен высокого давления (ПВД 15802-020) по ГОСТ 16337 и полистирол (ПСМ - 115) по ГОСТ 20282) в диапазонах температур 130 - 200 °С, необходимых для расчета формующей оснастки и выбора оптимального технологического режима для изготовления оросителей, с рекомендацией и возможностью использования полученных данных в производстве изделий из полимерных материалов.

- методику расчета экструзионных головок для изготовления элементов составляющих ороситель градирни, основанную на применении коэффици­ентов формы, определяемых по методу мембранной аналогии, с учетом ано­мально-вязкого характера напорного течения расплавов полимеров.

**Достоверность результатов** обоснована использованием в работе уни­версальных и отработанных методов исследований, анализом систематиче­ских и случайных погрешностей измерений. Измерения параметров изучае­мых процессов проводились на поверенных в установленном порядке при­борах (Микроманометр ММН - 240, Многофункциональный прибор AMI - 301 (анемометр, гигрометр, термоанемометр, термометр), жидкостной мано­метр, весы аналитические Classic, секундомер механический СОПпр-2а-3- 000, индикатор часового типа ИЧ-10 (ГОСТ 577-68)) , зарегистрированных в Госреестре РФ [5,1; 5,6].

Проведено сопоставление результатов, полученных числеными метода­ми, с помошью различных экспериментальных методов исследований в усло­виях различных экспериментально-исследовательских установок, и показано их взаимное соответствие. Данные, полученые в различных разделах работы, дополняют друг друга и дают целостную, физически непротиворечивую кар­тину изучаемых процесов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Анализ процесса тепломассообмена в охлаждающих водооборотных циклах промышленных предприятий позволил установить, что его эффектив­ность в значительной мере определяется эффективностью работы градирен, ко­торая в свою очередь зависит от устойчивого пленочного течения оборотной воды по поверхности оснастки - оросителю. Основную роль в этом играют кон­структивное исполнение оросителей, материал, применяемый для изготовления и геометрия их поверхности.
2. Научно обоснована и реализована концепция совершенствования конст­рукций оросителей градирен на основе сетчатой оболочки из полимерных и композиционных материалов, с оптимизацией их конструктивных элементов, с целью образования устойчивого пленочного режима течения оборотной воды по поверхности контакта в пределах плотности орошения до 12 м /(м час). Разра­ботан и классифицирован новый тип оросителей градирен на основе сетчатой оболочки из полимерных и композиционных материалов.
3. Получены математические зависимости и методики расчета основных технологических характеристик полимерных оросителей градирен, с целью оп­ределения количественных и качественных показателей процесса охлаждения оборотной воды и оптимизации их конструктивных элементов, влияющих на эффективность тепломассообменного процесса.
4. Проанализированы современные технологии переработки полимерных материалов в изделия и обоснован выбор метода экструзии для изготовления составляющего элемента оросителя градирни - сетчатой оболочки, как наиболее экономически целесообразный, безотходный и экологически безопасный.
5. Предложена концепция проектирования экструзионного формующего инструмента для изделий сложного профильного сечения, в частности - сетча­той оболочки, с разработкой методики расчета, основанной на применении ко­эффициентов формы, определяемых по методу мембранной аналогии, с учетом аномально-вязкого характера напорного течения расплавов полимеров.
6. Исследованы реологические, гидродинамические характеристики рас­плавов полимеров (полиэтилен низкого давления (ПНД 277-73) по ГОСТ 16338, полиэтилен высокого давления (ПВД 15802-020) по ГОСТ 16337 и полистирол (ПСМ - 115) по ГОСТ 20282) в диапазонах температур 130 - 200 °С и получены графические зависимости основных параметров, необходимых для расчета фор­мующей оснастки и выбора оптимального технологического режима для изго­товления оросителей, с рекомендацией и возможностью использования полу­ченных данных в производстве изделий из полимерных материалов.
7. Разработаны и изготовлены экспериментально-исследовательские уста­новки для определения основных технологических характеристик оросителей градирен, реологических и расходно-напорных характеристик расплавов про­мышленных полимеров, которые можно рекомендовать для промышленного использования при проведении контроля качества полимерной оснастки и по­лимерного сырья на действующем производстве.
8. Предварительная оценка экономической эффективности на примере ре­конструкции вентиляторной градирни СК - 400 с использованием полимерного оросителя градирни на основе сетчатой оболочки в водооборотных циклах про­мышленных предприятий показывает, что годовая экономия по основным экс­плуатационным показателям после реконструкции составит от 440 тыс. руб. до 500 тыс. руб. (по ценам 2011 г.) со сроком окупаемости реконструкции 1,2 года.
9. Теоретически обосновано, экспериментально доказано и подтверждено промышленными испытаниями увеличение эффективности охлаждения оборот­ной воды на 15-20% (по глубине охлаждения) при оснащении промышленных градирен разработанными конструкциями полимерных оросителей, в диапазо­нах скоростей воздушного потока до 3 м/с и плотности орошения до 12

Л Л

м /(м час). Результаты работы успешно внедрены на ряд предприятий, что от­крывает в дальнейшем широкие инновационные перспективы.